

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
для виконання лабораторних робіт  
з навчальної дисципліни

**«ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ»**

I частина

**Неперервні системи автоматичного регулювання**

*(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти  
за спеціальністю*

*141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2017**

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія автоматичного керування» І частина «Неперервні системи автоматичного регулювання» (для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Я. В. Щербак, К. Я. Івакіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 38 с.

Укладачі : д-р техн. наук, проф. Я. В. Щербак,  
канд. техн. наук, ст. викл. К. Я. Івакіна

Рецензент Ю. М. Кутовий, професор кафедри «Автоматизовані електромеханічні системи» НТУ «ХПІ»

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 12  
від 18.04.2017 р.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1	
ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНИХ ЛАНОК....	6
1.1 Часові характеристики лінійних ланок і методи їх дослідження.....	6
1.2 Попереднє завдання.....	10
1.3 Робоче завдання.....	10
1.4 Виконання робочого завдання.....	10
1.5 Обробка результатів досліджень.....	12
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2	
ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНИХ ЛАНОК.....	13
2.1 Частотні характеристики лінійних ланок і методи їх дослідження....	13
2.2 Попереднє завдання.....	17
2.3 Робоче завдання.....	18
2.4 Виконання робочого завдання.....	18
2.5 Обробка результатів досліджень.....	20
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3	
ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛІНІЙНОЇ БЕЗПЕРЕРВНОЇ СИСТЕМИ....	21
3.1 Стійкість лінійної безперервної системи і методи її дослідження.....	21
3.2 Попереднє завдання.....	24
3.3 Робоче завдання.....	25
3.4 Виконання робочого завдання.....	25
3.5 Обробка результатів досліджень.....	25
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4	
ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ.....	27
4.1 Корекція безперервної лінійної системи.....	28
4.2 Попереднє завдання.....	31
4.3 Робоче завдання.....	31
4.4 Виконання робочого завдання.....	33
4.5 Обробка результатів досліджень.....	33
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	34
ДОДАТОК А .....	35

## ВСТУП

Сучасний технічний рівень в промисловості і транспорті характеризується вдосконаленням застарілих технологічних процесів і повсюдним впровадженням нових високоефективних технологій. Це завдання припускає широке впровадження автоматики і засобів автоматизації, що базуються на новій елементній базі.

Особливістю автоматики як наукової дисципліни є спільність математичного опису і практичне застосування закономірностей в системах різної фізичної природи – механічних, пневматичних, гідравлічних, електричних, електронних і так далі. В результаті цього знання основ теорії автоматичного керування необхідне інженерно-технічним працівникам переважної більшості спеціальностей.

Робота будь-яких автоматичних систем, від простих до найскладніших, базується на одних і тих же основних принципах. Чітке розуміння їх суті і знання основ теорії автоматичного керування є необхідною умовою для правильного розуміння принципу дії, особливостей улаштування і експлуатації будь-яких автоматичних пристроїв. Даний підхід покладений в основу побудови лабораторного практикуму.

Методичні вказівки частина I дисципліни «Теорія автоматичного керування» включають роботи з лінійних безперервних систем. Кожна з лабораторних робіт містить теоретичний матеріал, необхідний для розуміння завдання дослідження, шляхів її рішення і містить формули для виконання попереднього завдання і оформлень результатів роботи.

Роботи побудовані таким чином і пропонується такий порядок їх виконання, щоб результати попередньої можна було використовувати для виконання наступної. Наприклад, частотні характеристики окремих ланок і їх з'єднань, отримані в результаті виконання другої роботи, можуть бути використані для визначення запасів стійкості системи (третя робота) і для корекції системи (четверта робота).

Лабораторні роботи виконуються на імітаційних моделях. Передавальні функції досліджуваних ланок відповідають реальним об'єктам. Так, наприклад, аперіодичній ланці першого порядку відповідає обмотка збудження двигуна постійного струму, а коливальній ланці – згладжуючий LC-фільтр з навантаженням на виході.

Підготовку до лабораторної роботи рекомендується виконувати в наступному порядку:

- вивчити літературу з даного розділу;
- виконати попереднє розрахункове завдання, користуючись методичними вказівками;
- вивчити робоче завдання і методичні вказівки до його виконання.

Попереднє розрахункове завдання виконується в окремому зошиті, який відіграє роль лабораторного журналу протягом усіх лабораторних робіт, куди заносяться у вигляді таблиць результати експериментальних досліджень. Графіки і характеристики будуються на міліметрівці і вкладаються в журнал. Кожен студент веде журнал індивідуально і представляє викладачеві у вигляді звіту про виконану роботу при захисті.

# 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНИХ ЛАНОК

### 1.1 Часові характеристики лінійних ланок і методи їх дослідження

Часовою характеристикою ланки називається закон зміни вихідної величини  $y$  у функції часу  $t$  за певним законом і за умови, що до прикладення зовнішньої дії ланка знаходилася у спокої. Часові характеристики ланки залежать від властивостей ланки і від характеру зовнішньої дії, для якої вони визначаються. Можна розглядати ці характеристики за вхідною величиною  $x(t)$ , за збуренням  $f(t)$  тощо. Зазвичай при визначенні часових характеристик за будь-яким зовнішнім діянням всі інші діяння вважають рівними нулю.

У даній лабораторній роботі розглядаються часові характеристики тільки за вхідною величиною  $x(t)$ . Найчастіше при отриманні часових характеристик вважають, що зовнішнє діяння змінюється за законом дельта-функції  $x(t) = \delta(t)$ , або за законом одиничної ступінчастої функції  $x(t) = 1(t)$ . Часові характеристики ланки при цих законах зміни зовнішніх діянь отримали назву функції ваги і перехідної функції ланки.

Перехідною функцією ланки  $h(t)$  називається реакція ланки на вхідне діяння  $x(t) = 1(t)$  за умови, що до прикладення вхідного діяння ланка знаходилася у спокої (рис. 1.1).

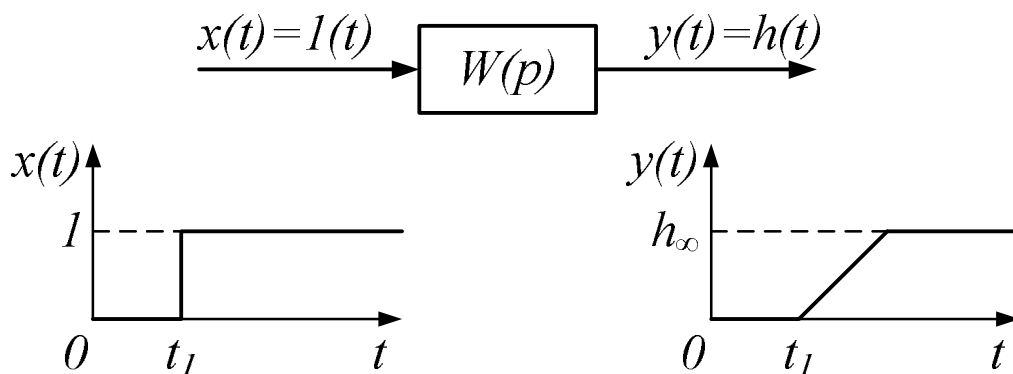


Рисунок 1.1 – Перехідна функція

Перехідна функція може бути визначена експериментально або обчислена теоретично. Якщо досліджувана ланка описується передавальною

функцією  $W(p)$ , то з урахуванням того, що зображення одиничної ступінчастої функції  $L\{1(t)\} = \frac{1}{p}$ , зображення перехідної функції дорівнює

$$H(p) = \frac{W(p)}{p}. \quad (1.1)$$

Звідси витікає, що

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{W(p)}{p}\right\}, \quad (1.2)$$

тобто перехідна функція є зворотним перетворенням Лапласа від передавальної функції ланки, що ділиться на  $p$ .

Оригінал перехідної функції можна визначити, як суму вичитів в особливих точках

$$h(t) = \sum_{i=1}^u \frac{U(p_i)}{V'(p_i)} \cdot e^{p_i t}, \quad (1.3)$$

де  $U(p)$  – поліном чисельника  $H(p)$ ;

$V(p)$  – похідна від полінома знаменника  $H(p)$ ;

$p_i$  – полюси функції  $H(p)$ .

Результати обчислення перехідної функції представляються у вигляді графіка, побудованого в координатах  $(h, t)$ . Конкретний вигляд функції  $h(t)$  (монотонний, коливальний та ін.) залежать від властивостей ланки і можуть бути різноманітними.

Початкові (при  $t \rightarrow 0+$ ) і кінцеве (при  $t \rightarrow \infty$ ) значення перехідної функції у разі потреби можна знайти, не обчислюючи саму функцію  $h(t)$ .

З теореми про початкове значення

$$h(0+) = \lim_{p \rightarrow \infty} pH(p) = \lim_{p \rightarrow \infty} W(p). \quad (1.4)$$

### 3 теореми про кінцеве значення

$$h(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} pH(p) = \lim_{p \rightarrow 0} W(p). \quad (1.5)$$

Для лінійних ланок при неединичному стрибку вхідної величини  $x(t) = A \cdot 1(t)$  вихідна величина ланки змінюватиметься згідно із законом  $y(t) = A \cdot h(t)$ , де  $A = \text{const}$ .

Функцією ваги (або імпульсною перехідною функцією) ланки  $w(t)$  називається її реакція на вхідний сигнал  $x(t) = \delta(t)$  за умови, що до прикладення вхідного діяння ланка знаходилася у спокої (рис. 1.2).

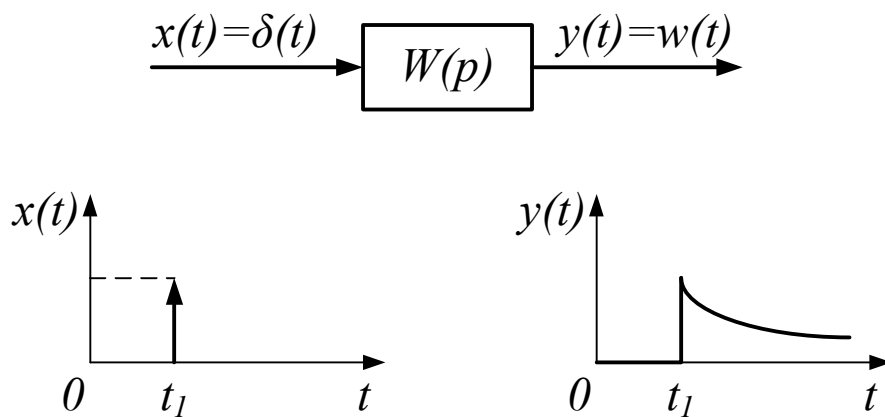


Рисунок 1.2 – Функція ваги

Функція ваги може бути знайдена теоретично або експериментально. Для експериментального визначення функції ваги осцилографується процес зміни вихідної величини ланки при вхідному діянні у вигляді реального імпульсу довільної форми з одиничною площею. Методична погрішність, що виникає при цьому, буде тим менше, чим менше тривалість вхідного імпульсу в порівнянні з часом завдання перехідного процесу в досліджуваній ланці.

Для ланки з передавальною функцією  $W(p)$  з урахуванням того, що  $L\{\delta(t)\} = 1$ , зображення функції ваги дорівнює  $L\{w(t)\} = W(p)$ .

Звідси витікає, що функція ваги є зворотним перетворенням Лапласа від передавальної функції ланки  $w(t) = L^{-1}\{W(p)\}$ .

Функцію ваги обчислюють таким же способом, як і оригінал перехідної функції.



Початкове і кінцеве значення функції ваги можуть бути визначені за наступними формулами:

$$w(0+) = \lim_{p \rightarrow \infty} pW(p); \quad (1.6)$$

$$w(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} W(p). \quad (1.7)$$

У тому випадку, коли на вхід лінійної ланки поступає неединична дельта-функція  $x(t) = A \cdot \delta(t)$ , де  $A = \text{const}$ , реакція ланки на цей сигнал дорівнює  $y(t) = A(t)$ . Графік функції ваги ланки будується в координатах  $(w, t)$ . Характер графіка  $w(t)$  також як і перехідної функції залежить від властивостей досліджуваної ланки.

Зв'язок між перехідною функцією і функцією ваги ланки можна визначити на підставі теореми про зображення похідної

$$L\{h'(t)\} = pW(p) - h(0+) = W(p) - h(0+), \quad (1.8)$$

звідки

$$W(p) = L\{h'(t)\} + h(0+). \quad (1.9)$$

Перехід від зображень до оригіналів дає шукану залежність

$$w(t) = \frac{dh(t)}{dt} + h(0+) \cdot \delta(t). \quad (1.10)$$

Якщо передавальна функція ланки є правильним раціональним дробом, то  $h(0+) = 0$  і зв'язок між двома функціями приймає більш простий вигляд:

$$w(t) = \frac{dh(t)}{dt}. \quad (1.11)$$

## **1.2 Попереднє завдання**

1.2.1 Записати передавальну функцію аперіодичної ланки першого порядку і зарисувати її схемну реалізацію.

1.2.2 Записати передавальну функцію аперіодичної ланки другого порядку і зарисувати її схемну реалізацію.

1.2.3 Записати передавальну функцію коливальної ланки.

1.2.4 Записати вираз для перехідних функцій вказаних ланок.

1.2.5 Записати вираз для функцій ваги вказаних ланок.

1.2.6 На підставі теорем про початкове і кінцеве значення знайти початкове і кінцеве значення перехідної функції і функції ваги.

1.2.7 Записати зв'язок між перехідною функцією і функцією ваги.

## **1.3 Робоче завдання**

1.3.1 Зняти осцилограми перехідних функцій досліджуваних ланок.

1.3.2 Зняти осцилограми функцій ваги досліджуваних ланок.

1.3.3 Виміряти амплітудні і часові параметри вхідного і вихідного сигналів.

1.3.4 Порівняти результати експериментальних досліджень з результатами розрахунків часових характеристик.

## **1.4 Виконання робочого завдання**

1.4.1 Панель стенда для дослідження часових характеристик наведена на рисунку 1.3. При дослідженнях розглядаються аперіодичні ланки першого і другого порядків та коливальна ланка. Аперіодичні ланки першого і другого порядків мають передавальні функції

$$H_1(p) = \frac{1}{T_1 p + 1}; \quad H_2(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}. \quad (1.12)$$

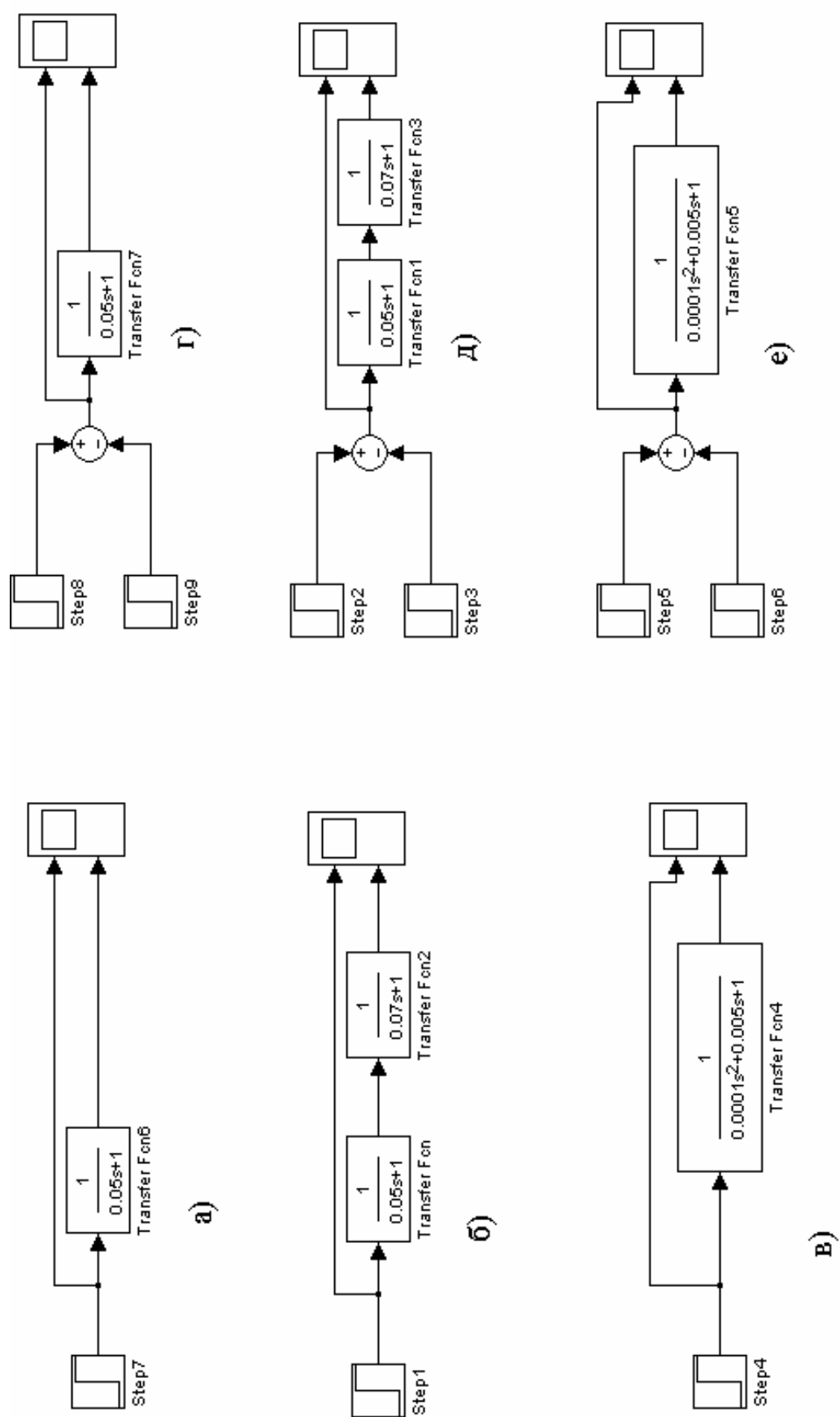


Рисунок 1.3 – Панель стенда для дослідження часових характеристик

Передавальна функція коливальної ланки

$$H_3(p) = \frac{1}{T_2^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1}. \quad (1.13)$$

Дослідження часових характеристик аперіодичних ланок першого і другого порядків здійснюється подачею на входи динамічних ланок вхідних діянь  $I(t)$  і  $\delta(t)$ , контрольованих першими входами осцилографів. Осцилографування і вимірювання вихідних сигналів вказаних ланок здійснюється підключенням других входів осцилографів.

### **1.5 Обробка результатів досліджень**

1.5.1 Побудувати часові характеристики досліджуваних ланок за результатами попереднього завдання і отримані в результаті експерименту.

1.5.2 Порівняти між собою результати теоретичних і експериментальних досліджень.

1.5.3 Пояснити отримані залежності.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНИХ ЛАНОК

#### 2.1 Частотні характеристики лінійних ланок і методи їх дослідження

Якщо на вхід лінійної ланки з передавальною функцією  $W(p)$  впливає вхідний сигнал  $x(t) = A_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$  (рис. 2.1),

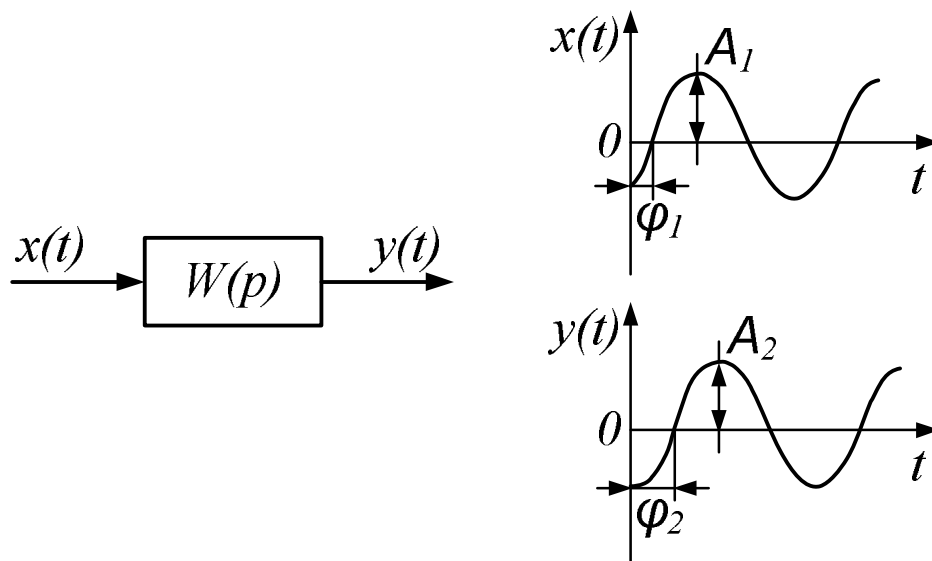


Рисунок 2.1 – Визначення частотних характеристик динамічної ланки

у якого  $A_1$  – амплітуда вхідного сигналу;  $\omega$  – кругова частота ( $0 < \omega < \infty$ );  $\varphi_1$  – початкова фаза вхідного сигналу, на його виході встановлюються гармонійні коливання тієї ж частоти  $\omega$ , амплітуда яких

$$A_2 = A_1 \cdot |W(j\omega)|, \quad (2.1)$$

а фаза

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \arg W(j\omega). \quad (2.2)$$

З формул для  $A_1$  і  $\varphi_2$  слідує, що при зміні частоти  $\omega$  вхідного сигналу вихідний сигнал ланки змінює амплітуду і фазовий зсув.

Для визначення сталої реакції ланки на гармонійний вхідний сигнал достатньо знати комплексну функцію  $W(j\omega)$  дійсної змінної  $\omega$ . Функція

$$W(j\omega) = \frac{b_0(j\omega)^m + b_1(j\omega)^{m-1} + \dots + b_m}{c_0(j\omega)^n + c_1(j\omega)^{n-1} + \dots + c_n}, \quad (2.3)$$

що отримується при заміні в передавальній функції  $p$  на  $j\omega$ , називається частотною передавальною функцією ланки і може бути представлена у вигляді

$$W(j\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \quad (2.4)$$

де  $A(\omega) = |W(j\omega)|$ ,  $\varphi(\omega) = \arg W(j\omega)$ ; або в наступному вигляді:

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega), \quad (2.5)$$

де  $U(\omega) = \operatorname{Re} W(j\omega)$ ;  $V(\omega) = \operatorname{Im} W(j\omega)$ .

Функція  $A(\omega)$  визначає амплітудно-частотну характеристику (АЧХ), а  $\varphi(\omega)$  - фазо-частотну характеристику. Для кожного фіксованого значення  $\omega = \omega_i$  частотна передавальна функція на комплексній площині  $(U; jV)$  може бути зображена вектором  $A(j_i)$  модуль якого визначає коефіцієнт передачі, а його відхилення від позитивного напрямку осі абсцис – фазовий зсув  $\varphi(\omega_i)$  (рис. 2.2).

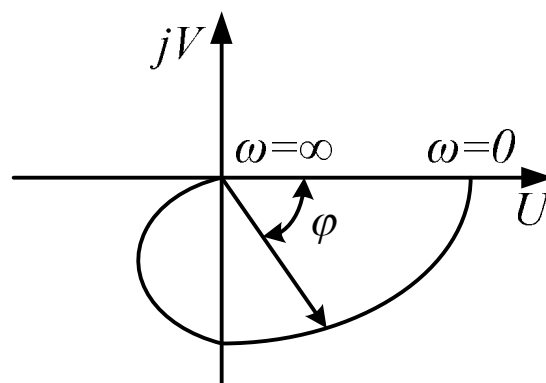


Рисунок 2.2 – Нікхт-граф амплітудно частотної характеристики

Побудові частотних характеристик  $A(\omega)$ ,  $\varphi(\omega)$ ,  $U(\omega)$  і  $V(\omega)$  повинен передувати підготовчий етап деяких перетворень. Представивши частотну передавальну функцію у вигляді

$$W(j\omega) = \frac{U_u(\omega) + jV_u(\omega)}{U_z(\omega) + jV_z(\omega)}, \quad (2.6)$$

де  $U_u$  і  $U_z$  – дійсні частини чисельника і знаменника;

$V_u$  і  $V_z$  – уявні частини чисельника і знаменника,

можна записати

$$A(j\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{\frac{U_u^2 + V_u^2}{U_z^2 + V_z^2}}. \quad (2.7)$$

Щоб визначити  $U(\omega)$  і  $V(\omega)$ , достатньо чисельник і знаменник функції домножити на комплексний вираз, спряжений знаменнику:

$$W(j\omega) = \frac{(U_u + jV_u) \cdot (U_z - jV_z)}{U_z^2 + V_z^2}. \quad (2.8)$$

З цього виразу отримаємо

$$U(\omega) = \frac{U_u \cdot U_z - V_u \cdot V_z}{U_z^2 + V_z^2}; \quad (2.9)$$

$$V(\omega) = \frac{U_z \cdot V_z - U_u \cdot V_z}{U_z^2 + V_z^2}. \quad (2.10)$$

Характеристики  $A(\omega)$  і  $\varphi(\omega)$  можуть бути отримані експериментальним шляхом. Для цього на вхід досліджуваної ланки подають гармонійний сигнал. Модуль вектора  $W(j\omega)$  дорівнює відношенню амплітуд вихідного і вхідного сигналів. Фазо-частотну характеристику отримують шляхом вимірювання фазового зсуву між вхідним і вихідним сигналами. Результати вимірювань представляють у вигляді графічних залежностей  $A(\omega)$  і  $\varphi(\omega)$ .

Частотні характеристики, побудовані в логарифмічному масштабі, називають логарифмічними частотними характеристиками. Логарифмічні шкали по одній або обох осях можуть використовуватися при побудові будь-яких частотних характеристик. Найчастіше будуються характеристики  $A(\omega)$ ,  $\varphi(\omega)$  і  $W(j\omega)$ , які називаються відповідно логарифмічною амплітудною характеристикою (ЛАХ), фазо-частотною характеристикою (ФЧХ).

При побудові логарифмічних характеристик на шкалі частот замість  $\omega$  відкладається  $\lg \omega$ . Одиницями вимірювання логарифмічних координат є декада (дек) і децибел (дБ). Декадою називається інтервал частот, який відповідає зміні частоти в 10 разів. На логарифмічній шкалі декада зображується відрізком одиничної довжини, оскільки  $\lg 10\omega - \lg \omega = 1$ . Тому відносно величини  $\lg \omega$  логарифмічна шкала є рівномірною, а відносно частоти – нерівномірною.

Децибел використовується при введенні логарифмічної шкали по осі ординат а.ч.х., яка показує, в скільки разів амплітуда вихідного сигналу більше або менше амплітуди вхідного сигналу.

Підсиленням в децибелах називається величина  $L(\omega) = 20 \cdot \lg A(\omega)$ . Підсиленню відповідають позитивні децибели, а послабленню – негативні.

Щоб отримати ЛАХ, необхідно узяти функцію  $L(\omega) = 20 \cdot \lg A(\omega)$  і побудувати її графік, використовуючи логарифмічну шкалу частот. При побудові ЛАХ логарифмічна шкала використовується тільки по осі частот, а по осі ординат використовується натуральний масштаб. На рисунку 2.3 приведений приклад побудови логарифмічних частотних характеристик аперіодичної ланки першого порядку.

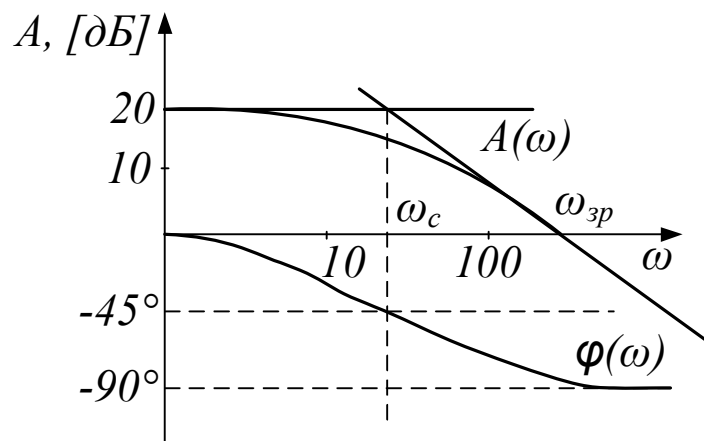


Рисунок 2.3 – Логарифмічна частотна характеристика



Для послідовного з'єднання ланок результуючу ЛАХ отримують з умови

$$\lg A(\omega) = \sum_{i=1}^n \lg A_i(\omega), \quad (2.11)$$

де  $A_i$  – модуль коефіцієнта передачі  $i$ -ї ланки.

## 2.2 Попереднє завдання

2.2.1 Записати передавальні функції досліджуваних ланок згідно вказаному варіанту завдання.

2.2.2 Отримати формули для розрахунку частотних характеристик досліджуваних ланок  $\{A(\omega), \varphi(\omega), U(\omega), V(\omega)\}$ .

2.2.3 Побудувати годографи АЧХ досліджуваних ланок.

2.2.4 Побудувати асимптотичні ЛАХ досліджуваних ланок.

2.2.5 Визначити сполучну частоту  $\omega_c$  і частоту зрізу  $\omega_{зр}$  за ЛАХ досліджуваних ланок.

## 2.3 Робоче завдання

2.3.1 Зняти залежності  $A = f(\omega)$  і  $\varphi = f(\omega)$  досліджуваних ланок.

2.3.2 Побудувати годографи АЧХ досліджуваних ланок.

2.3.3 Побудувати ЛАХ досліджуваних ланок.

2.3.4 Визначити сполучну частоту  $\omega_c$  і частоту  $\omega_{зр}$  досліджуваних ланок.

2.3.5 Порівняти результати теоретичних і експериментальних досліджень.

## 2.4 Виконання робочого завдання

2.4.1 Вхідним сигналом для зняття частотних характеристик служить сигнал генератора синусоїдальних коливань Signal Generator. Змінюється частота коливань у вікні налаштувань Signal Generatora.

2.4.2 При знятті частотних характеристик встановити амплітуду коливань генератора  $U_1 = 10$  В. Вхідний і вихідний сигнали досліджуваних

ланок контролюється за допомогою осцилографа Scope, входи якого підключаються до виходу генератора синусоїдальних коливань і виходу досліджуваної ланки.

2.4.3 Амплітуда вхідного і вихідного сигналів досліджуваних ланок контролюється за допомогою моніторів  $U_g$  та  $U_h$ , входи яких підключені до виходу субблока  $VU$ .

2.4.4 Фазовий зсув між вхідним і вихідним сигналами досліджуємих динамічних ланок відображається на дисплеї Faza.

2.4.5 Зняття частотних характеристик виконувати в діапазоні зміни частоти генератора: для ланок першого порядку  $f = 50 \div 1000$  Гц; для ланок другого і третього порядків  $f = 50 \div 500$  Гц.

2.4.6 Результати вимірювань частоти вхідного сигналу  $f$  досліджуваної ланки, амплітуди його вихідного сигналу  $U_2$  і величину фазового зсуву заносять в таблицю 2.1.

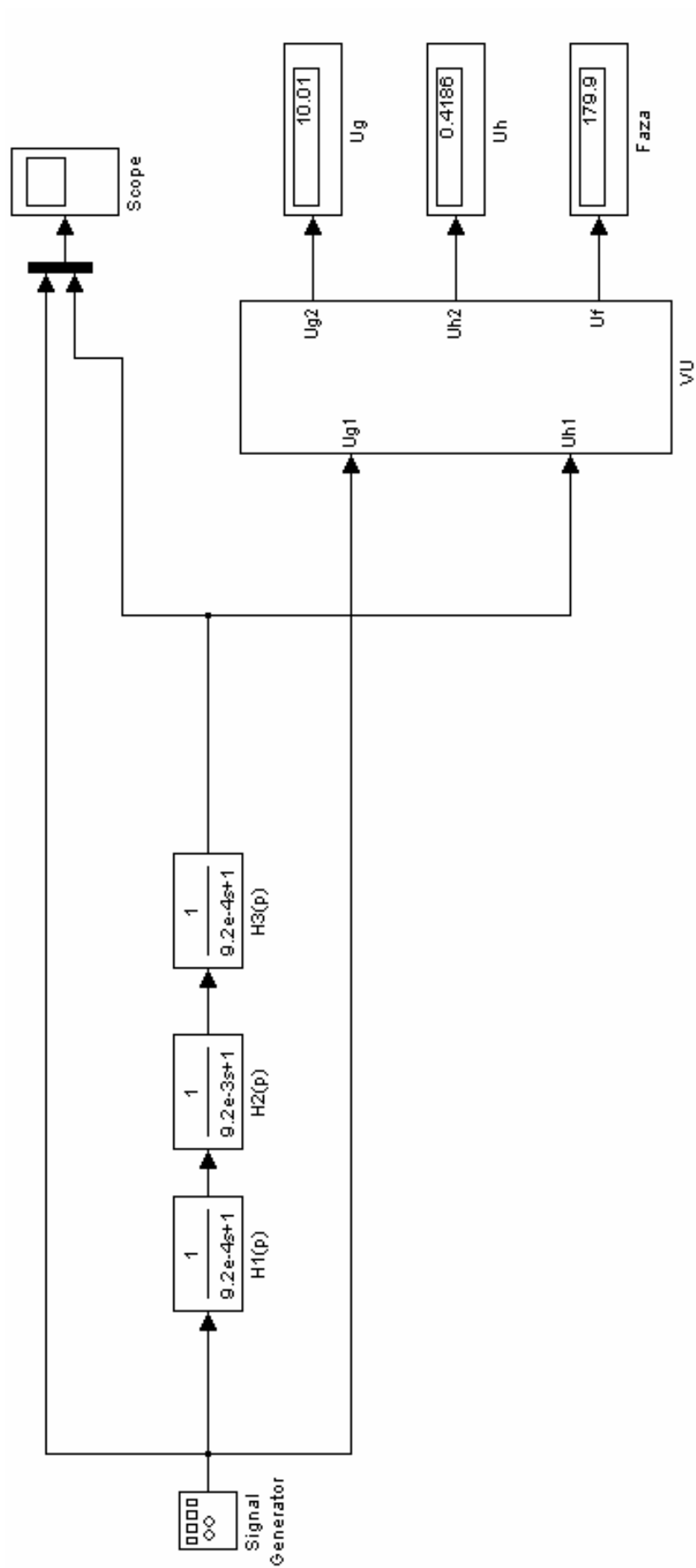


Рисунок 2.4 – Панель лабораторного стенда дослідження частотних характеристик

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань

$f$ , Гц										
$U_2$ , В										
$\varphi$ , град.										
$A$										
$L$ , дБ										

## 2.5 Обробка результатів досліджень

2.5.1 Обчислити величини коефіцієнта передачі досліджуваних ланок як  $A = \frac{U_2}{U_1}$  і  $L = 20 \cdot \lg A$  для відповідних значень частоти.

2.5.2 Доповнити таблицю результатами обчислень коефіцієнта передачі.

2.5.3 Побудувати за результатами експериментів ЛАХ і ФЧХ досліджуваних ланок, сполучивши їх із заздалегідь побудованими за наслідками попереднього завдання відповідними характеристиками.

2.5.4 Визначити величину похибки. Пояснити отримані теоретичні і експериментальні залежності.

### 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛІНІЙНОЇ БЕЗПЕРЕРВНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1 Стійкість лінійної безперервної системи і методи її дослідження

Про стійкість системи можна робити висновок за результатом розв'язання лінеаризованого диференціального рівняння замкнутої системи, яке можна записати в наступному вигляді:

$$Y(t) = Y_n(t) + Y_{ycm}(t), \quad (3.1)$$

де  $Y_n(t)$  – перехідна, а  $Y_{ycm}(t)$  – усталена складові перехідного процесу.

Система автоматичного регулювання називається стійкою, якщо перехідна складова з часом затухає, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y_n(t) = 0. \quad (3.2)$$

Якщо з часом перехідний процес розходиться, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y_n(t) = \infty, \quad (3.3)$$

то система називається нестійкою.

Визначення стійкості системи полягає у відшукуванні нулів (коренів) характеристичного рівняння. Для того, щоб лінійна САР була стійкою, необхідно і достатньо, щоб дійсні частини коренів характеристичного рівняння

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (3.4)$$

були від'ємними, тобто  $\operatorname{Re} p_k < 0$ , де  $k = 1, 2, \dots, n$ . Іншими словами, всі корені характеристичного рівняння САР повинні розташовуватися в лівій напівплощині коріневої площини. На рисунку 3.1 наведено приклад розташування нулів характеристичного рівняння на коріневої площині.

Система з коренями  $p_1, p_2, p_3$  – стійка. Якщо хоч би один дійсний корінь ( $p_5$ ) або пара комплексних коренів ( $p_4, p_6$ ) знаходяться на уявній

вісі, а всі останні розташовуються в лівій напівплощині, САР знаходиться на границі стійкості. Система з коренями  $p_7, p_8$  – нестійка.

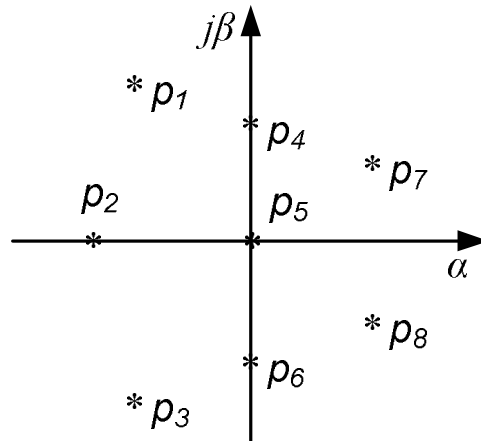


Рисунок 3.1 – Корнева площина

Визначення стійкості по розташуванню коренів характеристичного рівняння достатнє трудомістко, особливо, коли порядок характеристичного рівняння  $n \geq 3$ . Тому користуються ознаками, які називаються критеріями стійкості, за яких можна судити про стійкість САР. Критерій Раусу-Гурвиця, що відноситься до алгебраїчних критеріїв, накладає обмеження на коефіцієнти характеристичного рівняння.

Якщо характеристичне рівняння системи має вигляд (3.4), то для стійкості лінійної САР необхідно і достатньо, щоб були позитивними  $n$  визначників Гурвиця –  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, n$ .

Визначники Гурвиця представляють собою діагональні визначники квадратної матриці  $n$ -го порядку

$$G = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}, \quad (3.5)$$

складеної з коефіцієнтів характеристичного рівняння так, що

$$\Delta_1 = a_1; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \Delta_n = |G|. \quad (3.6)$$

Для рівняння першого і другого ступеня умови стійкості

$$a_0 > 0; \quad a_1 > 0; \quad a_2 > 0. \quad (3.7)$$

Для рівняння третього ступеня

$$\Delta_1 = a_1 > 0; \quad \Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 > 0; \quad \Delta_3 = a_3 \cdot \Delta_2 > 0. \quad (3.8)$$

Критерій Найквіста заснований на розгляді АФЧХ розімкненої системи. АФЧХ розімкненої системи може бути отримана як аналітично, так і експериментально. Для стійкості замкнутої системи потрібно, щоб годограф АФЧХ розімкненої системи не охоплював точку з координатами  $(-1; j0)$ . На рисунку 3.2 показаний годограф  $W(j\omega)$ , який відповідає стійкій замкнутій системі.

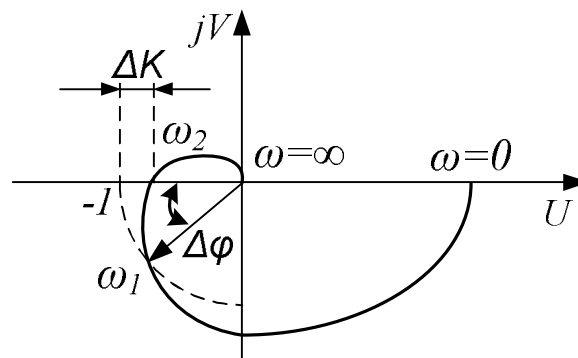


Рисунок 3.2 – Амплітудно-фазова частотна характеристика

Запас стійкості замкнутої САР визначається ступенем віддаленості годографа АФЧХ розімкненої системи від точки  $(-1; j0)$ . Проходження годографа АФЧХ через цю точку відповідає знаходженню САР на границі стійкості. Віддаленість АФЧХ характеризують двома величинами  $\Delta K$  і  $\Delta\varphi$ , які називаються відповідно запасами стійкості САР по коефіцієнту підсилення і по фазі. Запас по коефіцієнту підсилення показує, на яку величину повинен змінитися модуль АФЧХ (рис. 3.2) розімкненої системи на частоті  $\omega_2$ , при якій фазовий зсув  $\varphi = -180^\circ$ , для того, щоб замкнута САР опинилася на границі стійкості, тобто

$$\Delta K = 1 - |W(j\omega_2)|. \quad (3.9)$$

Запас стійкості по фазі показує, на яку величину повинен збільшитися фазовий зсув в розімкненій системі на частоті  $\omega_1$ , при якій  $|W(j\omega)| = 1$ , для того, щоб замкнута САР опинилася на границі стійкості, тобто

$$\Delta\varphi = 180^\circ - \varphi(\omega_1). \quad (3.10)$$

Аналогічно запаси стійкості визначаються і за логарифмічною амплітудно-частотною і фазо-частотною характеристикам.

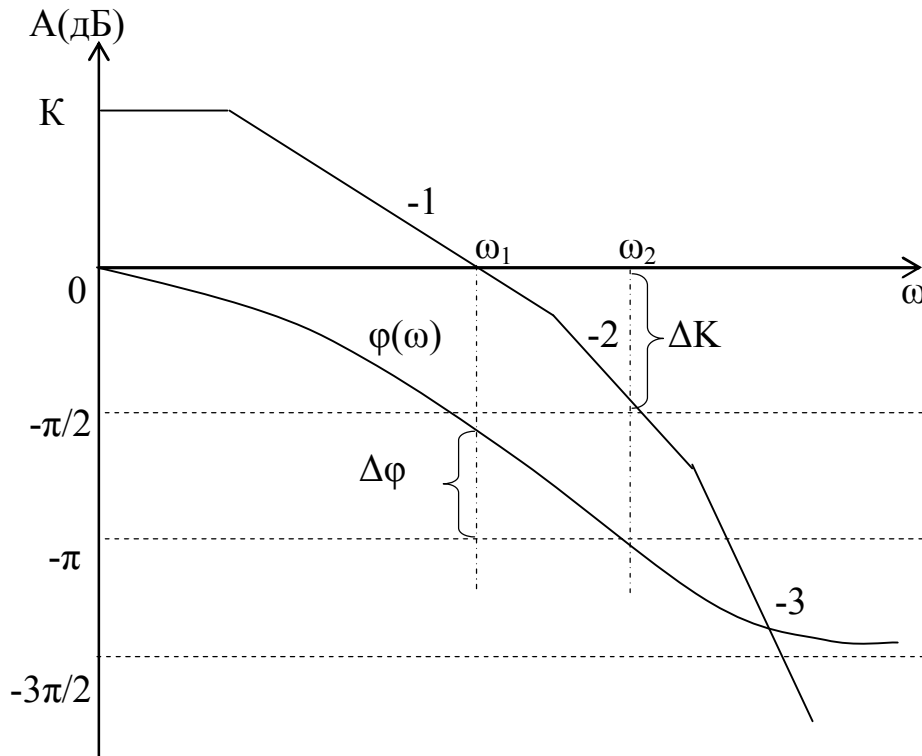


Рисунок 3.3 – Логарифмічні амплітудно-частотна і фазо-частотна характеристики

### 3.2 Попереднє завдання

3.2.1 Намалювати замкнуту САР з ланок, наведених у лабораторній роботі №2. При складанні структурної схеми в її склад в якості регулятора (коректуючої ланки) включити ланку *Gain*.

3.2.2 Записати передавальну функцію досліджуваної розімкненої системи згідно вказаного варіанту завдання.

3.2.3 Побудувати АФЧХ, або логарифмічні АФЧХ і ФЧХ розімкненої системи.



3.2.4 Визначити значення коефіцієнта підсилення, яке відповідає коливальній границі стійкості.

3.2.5 Визначити частоту зрізу системи і частоту коливань в замкнутій системі.

### **3.3 Робоче завдання**

3.3.1 Зібрати замкнуту САР з ланок  $H_1(p)$ ,  $H_2(p)$ ,  $H_3(p)$ .

3.3.2 Збільшенням контурного коефіцієнта підсилення добитися автоколивань в замкнутій системі.

3.3.3 Виміряти величину коефіцієнта підсилення, що відповідає границі стійкості.

3.3.4 Виміряти частоту автоколивань.

3.3.5 Результати вимірювань порівняти з розрахунковими значеннями вимірюваних величин.

### **3.4 Виконання робочого завдання**

3.4.1 Панель стенду для дослідження стійкості САР наведена на рисунку 3.4.

3.4.2 Збільшення контурного коефіцієнта підсилення здійснюється плавною зміною параметрів ланки *Gain*, фіксуючи момент виникнення коливань.

3.4.4 Вимірювання частоти коливань виконувати за допомогою осцилографа.

### **3.5 Обробка результатів досліджень**

3.5.1 Порівняти частоту коливань в досліджуваній системі з результатом розрахунків.

3.5.2 Порівняти величину коефіцієнта передачі досліджуваної системи з розрахунковим.

3.5.3 Визначити величини похибок.

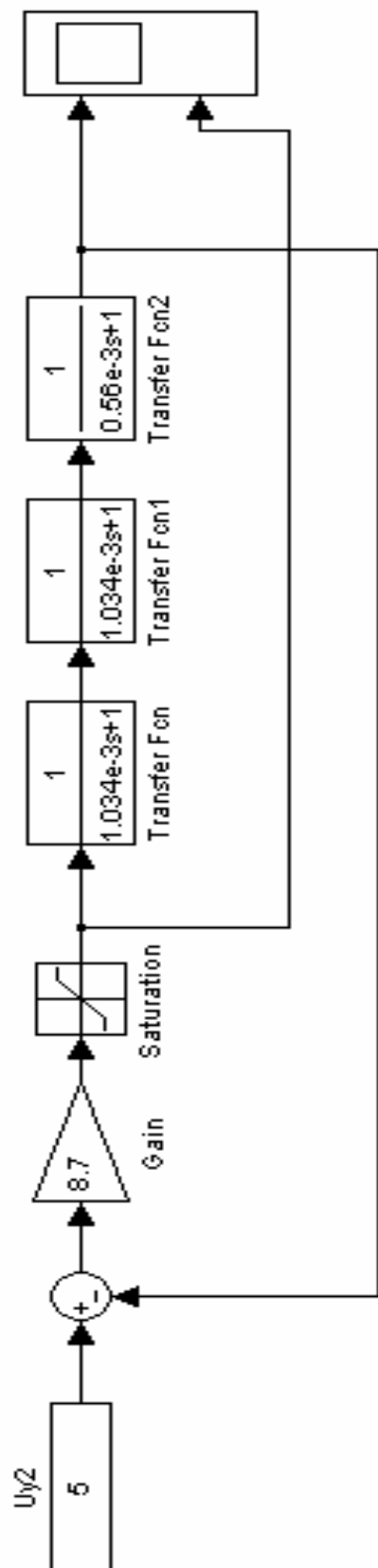


Рисунок 3.4 – Панель лабораторного стенда дослідження стійкості САР

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ

#### 4.1 Корекція безперервної лінійної системи

Підвищення запасу стійкості досягається раціональним вибором параметрів системи і введенням в неї спеціальних пристроїв, званих корегуючими. Корегуючі пристрої являють собою динамічні ланки з певними передавальними функціями. Вибір передавальної функції корегуючого пристрою також залежить від необхідної швидкодії САР.

Корегуюча ланка, включена в систему, виробляє такий розподіл нулів і полюсів передавальної функції розімкненої і замкнутої систем, при якому САР задовольняє не тільки критерію стійкості, але і критеріям якості.

Графічна інтерпретація дії корегуючого пристрою показана на рисунку 4.1, на якому залежності  $1$  відповідає а.ф.х. нестійкої системи, а залежністю  $2$  позначена а.ф.х. скоректованої системи, тобто системи з введенням корегуючим пристроєм. З рисунку наочно слідує, що вирішення задачі досягнення необхідних якісних показників полягає в деформації (корекції) а.ф.х. розімкненої системи в потрібному напрямі.

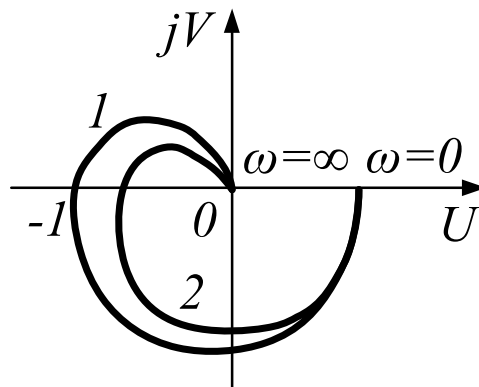


Рисунок 4.1 – Амплітудна фазова характеристика

Зазвичай завдання підвищення запасу стійкості і досягнення необхідної швидкодії тісно пов'язане із завданням підвищення точності. Корегуючі пристрої САР діляться на основні три типи: послідовні (рис. 4.2, а),

The image contains three block diagrams labeled a), б), and в).

- a)** A series connection where the input  $x(p)$  enters a block  $W(p)$ , followed by a block  $H(p)$ , resulting in the output  $y(p)$ .
- б)** A parallel connection where the input  $x(p)$  splits into two paths. One path goes through block  $W(p)$  and the other through block  $H(p)$ . The outputs of these two blocks are then summed at a junction (represented by a circle with an 'X') to produce the final output  $y(p)$ .
- в)** A feedback connection where the input  $x(p)$  enters a junction (represented by a circle with an 'X'). The output of this junction goes through block  $W(p)$  to produce the output  $y(p)$ . A feedback path branches off from the output  $y(p)$ , goes through block  $H(p)$ , and is then summed back into the input junction.

Найбільш широке застосування отримали послідовні коректуючі пристрої, які представляють собою активні та пасивні ланки на  $R - C$  елементах.

Вибір передавальної функції коректуючого пристрою, що забезпечує досягнення необхідних показників, є завданням синтезу САР. При цьому виходять з того, що об'єкт регулювання (незмінна частина системи) заданий, а синтезу підлягає коректуючий пристрій (регулятор). Вирішення цієї задачі особливо ефективно отримують застосуванням логарифмічних частотних характеристик.

Відправними даними служать ЛАХ початкової некоректованої системи  $L_3$  і вимоги, що пред'являються до процесу управління або регулювання. На основі цих вимог будується так звана ЛАХ  $L_6$ . Різниця  $L_6 - L_3$  дає необхідну ЛАХ послідовно коректуючого пристрою  $L_k$ . За виглядом ЛАХ визначається передавальна функція і параметри коректуючого

пристрою. При побудові бажаної ЛАХ необхідно враховувати наступні рекомендації.

Низькочастотна область *I* ЛАХ (рис. 4.3) визначає головним чином точність САР. Зв'язок між величиною коефіцієнта посилення і величиною похибки для статичної системи має вигляд

$$L(0) = 20 \cdot \lg\left(\frac{x}{\Delta} - 1\right), \quad (4.1)$$

де  $x$  – вхідний сигнал САР;

$\Delta$  – допустима величина похибки.

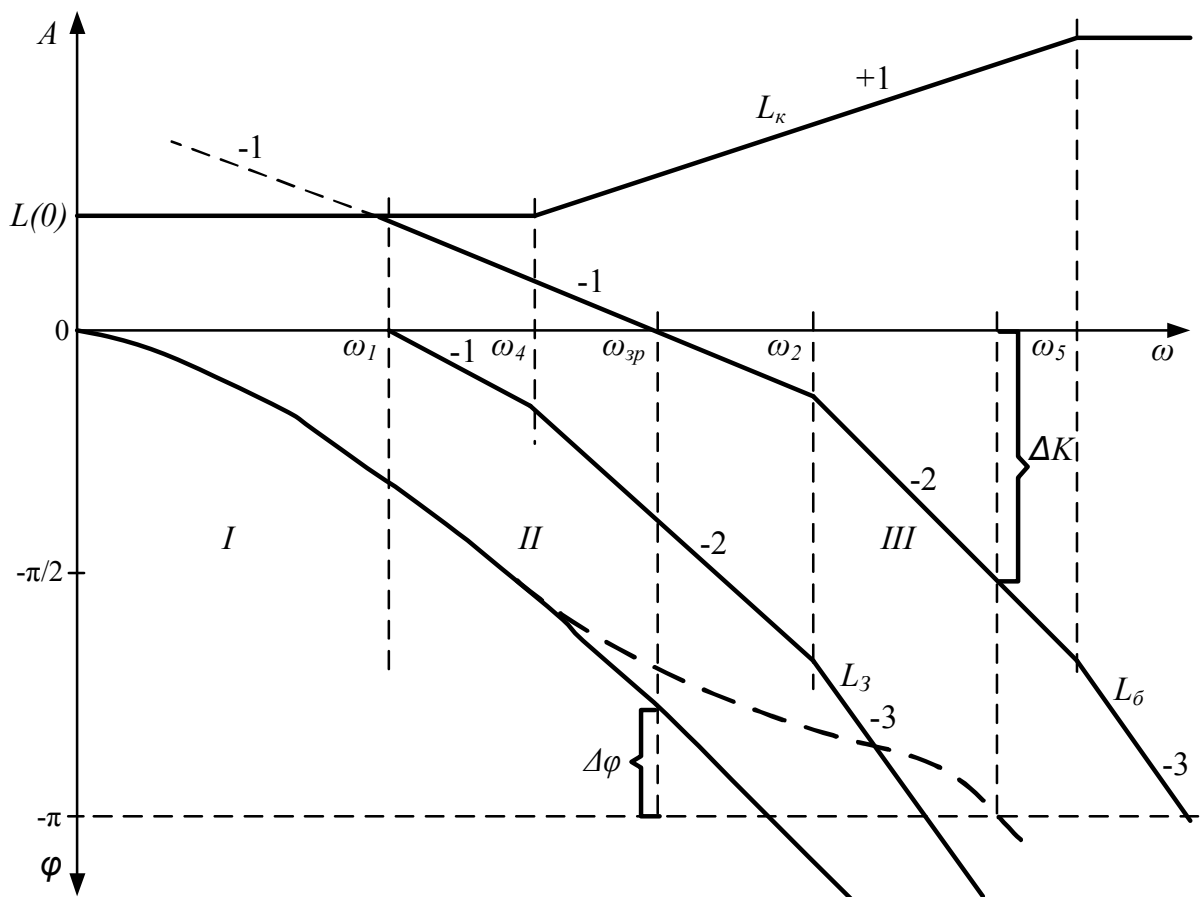


Рисунок 4.3 – Логарифмічна амплітудна частотна характеристика

Для астатичної системи першого порядку ( $\Delta = 0$ ) нахил ЛАХ в області низьких частот складає -20 дБ/дек.

Середньочастотна область *II*, прилегла до частоти зрізу  $\omega_{zp}$  системи визначає в основному запас стійкості, тобто якість перехідних процесів. У

цій частині нахил ЛАХ вибирається рівним 20 дБ/дек, що дозволяє зазвичай забезпечити необхідний запас стійкості. Чим більше протяжність цієї ділянки, тим більше запас стійкості, тобто вище якість перехідного процесу. Величину частоти зрізу  $\omega_{zp}$  системи можна визначити за формулою:

$$\omega_{zp} = \frac{\pi \cdot \lambda_{\delta}}{t_p}, \quad (4.2)$$

де  $t_p$  – час регулювання (час, на протязі якого відхилення перехідної функції замкнутої системи стає менше  $\varepsilon = (1 \div 5) \%$  від сталого значення).

Залежність коефіцієнта  $\lambda_{\delta}$  від перерегулювання  $\delta$  представлена на рисунку 4.4. Частоту спряження середньочастотної ділянки ЛАХ з попередньою і подальшою можна вибрати із співвідношень:

$$\omega_1 = \frac{\omega_{zp}^2}{\omega_2}; \quad \omega_2 = (2 \div 4) \cdot \omega_{zp}. \quad (4.3)$$

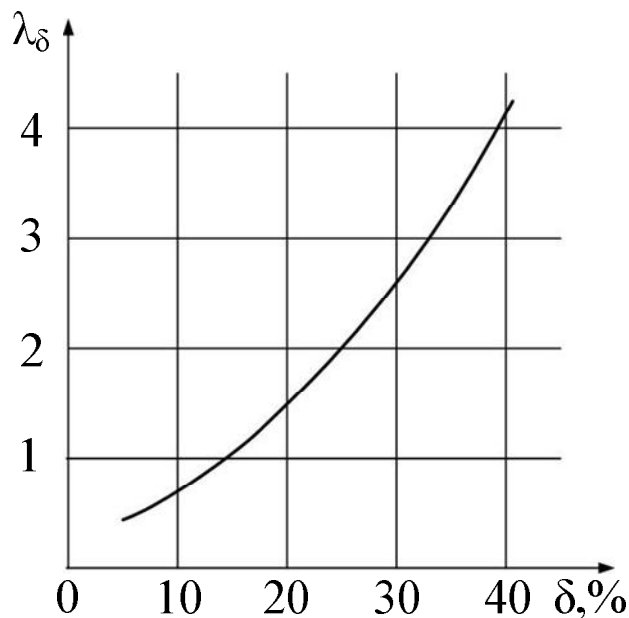


Рисунок 4.4 – Залежність коефіцієнта  $\lambda_{\delta}$  від перерегулювання  $\delta$

Високочастотна область *III* ЛАХ порівняно слабо впливає на вигляд перехідного процесу, тому її вибирають можливо близькою до ЛАХ початкової системи. Зазвичай нахил ЛАХ у цій області складає -40 дб/дек або -60 дб/дек.

## **4.2 Попереднє завдання**

4.2.1 Записати передавальну функцію розімкненої системи вказаного варіанту завдання, використовуючи матеріали Додатку А.

4.2.2 Побудувати асимптотичну ЛАХ і л.ф.х. розімкненої системи.

4.2.3 Побудувати ЛАХ бажаної системи, використовуючи набір ланок стенду.

4.2.4 Побудувати ЛАХ коректуючої ланки, використовуючи набір ланок стенду.

4.2.5 Записати передавальну функцію коректуючої ланки і обчислити її параметри.

4.2.6 Намалювати структурну схему замкнутої САР.

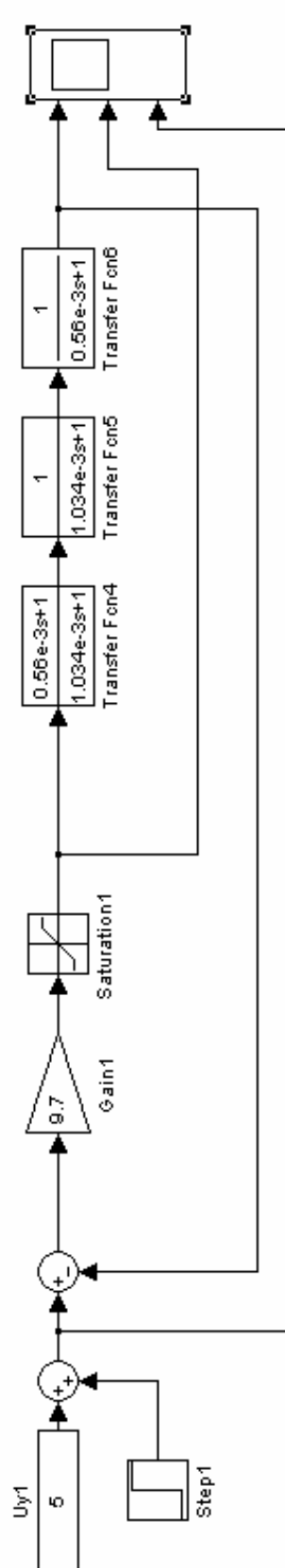
## **4.3 Робоче завдання**

4.3.1 Зібрати замкнуту САР з вказаних у варіанті завдання ланок, використовуючи в якості регулятора ланку *Gain*.

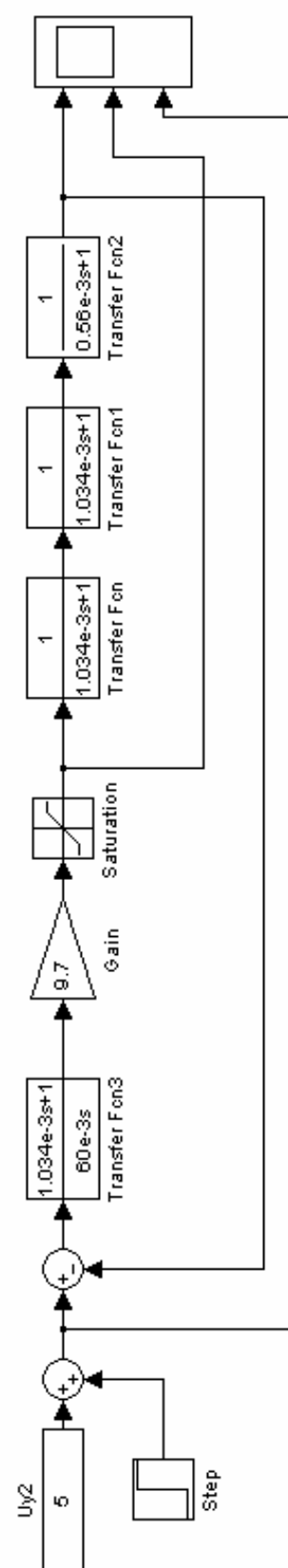
4.3.2 Спостерігати зрив автоколивань в замкнутій САР при підключенні корегуючої ланки.

4.3.3 За осцилографувати перехідні функції досліджуваної САР при включеній корегуючій ланці (регуляторі) і без неї.

4.3.4 Виміряти величину похибки регулювання для статичної і астатичної систем.



a)



б)

Рисунок 4.5 – Панель лабораторного стенда дослідження динамічних характеристик



#### **4.4 Виконання робочого завдання**

4.4.1 Панель стенду для дослідження корекції САР наведена на рисунку 4.5.

4.4.2 За допомогою структури рисунку 4.5, а дослідити підвищення стійкості САР.

4.4.3 За допомогою структури рисунку 4.5, а дослідити підвищення стійкості і точності САР.

#### **4.5 Обробка результатів досліджень**

4.5.1 Замалювати осцилограми перехідних процесів.

4.5.2 Визначити параметри перехідних процесів.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

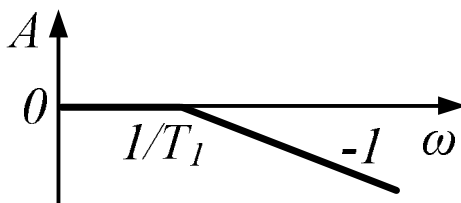
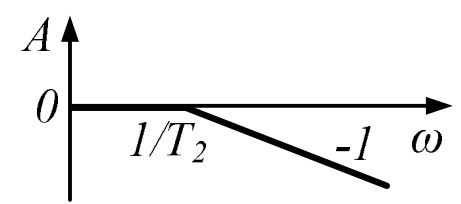
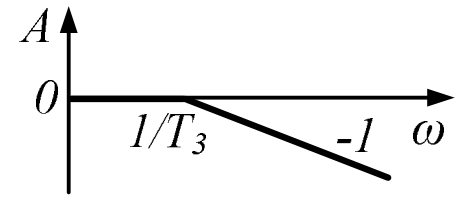
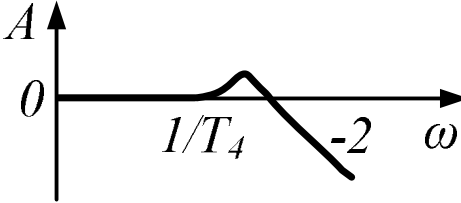
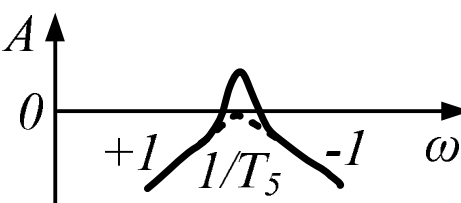
1. Теория автоматического управления : у 2 ч. / [А. А. Воронов, Д. П. Ким, В. М. Локин и др.] ; под ред. А. А. Воронова. – М. : Высшая школа, 1986. – Ч. I. – 367 с. – (Теория линейных систем автоматического регулирования).
2. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г. Ф. Зайцев. – Киев : Вища школа, 1988. – 431 с.
3. Теория автоматического управления / [ Гольдфарб Л. С. и др.] ; под ред. А. В. Нетушила. – М. : Высшая школа, 1976. – Ч. I. – 400 с; 1982. – Ч. II. – 432 с.
4. Ерофеев А. А. Теория автоматического управления : учебник для вузов / А. А. Ерофеев. – 3-е изд. – СПб. : Политехника, 2008. – 302 с.
5. Методичні вказівки для виконання курсової роботи з дисципліни «Теорія автоматичного керування» за напрямом 6.050702 – Електромеханіка спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [Уклад.: Щербак Я. В., Івакіна К. Я.] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 32 с.

# Додаток А

Таблиця А.1 – Передавальні функції досліджуваних ланок

Номер варіанта	Передавальна функція ланок	Параметри (варіанти)
1	$H_1(p) = \frac{1}{T_1 p + 1}$	$T_1 =$ : 1) $1 \cdot 10^{-3}$ с; 2) $2 \cdot 10^{-3}$ с; 3) $3 \cdot 10^{-3}$ с.
2	$H_2(p) = \frac{1}{T_2 p + 1}$	$T_2 =$ : 1) $1 \cdot 10^{-3}$ с; 2) $3 \cdot 10^{-3}$ с; 3) $2 \cdot 10^{-3}$ с.
3	$H_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1}$	$T_3 =$ : 1) $1 \cdot 10^{-3}$ с; 2) $1 \cdot 10^{-3}$ с; 3) $3 \cdot 10^{-3}$ с.
4	$H_4(p) = \frac{1}{T_4^2 p^2 + 2\xi T_4 p + 1}$	$T_4 =$ : 1) $1 \cdot 10^{-3}$ с; 2) $2 \cdot 10^{-3}$ с; 3) $3 \cdot 10^{-3}$ с; $\xi = 0,5$
5	$H_5(p) = \frac{T_5 p}{T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1}$	$T_5 =$ : 1) $1 \cdot 10^{-3}$ с; 2) $2 \cdot 10^{-3}$ с; 3) $3 \cdot 10^{-3}$ с; $\xi = 0,05$

Таблиця А.2 – Логарифмічні частотні характеристики досліджуваних ланок

Ланка	Л.А.Х.
$H_1(p)$	 <p>A Bode magnitude plot for a first-order lag system. The vertical axis is labeled <math>A</math> and the horizontal axis is labeled <math>\omega</math>. The plot starts at a constant value (0 on the axis) and then decreases with a slope of <math>-1</math> starting at a corner frequency marked <math>1/T_1</math>.</p>
$H_2(p)$	 <p>A Bode magnitude plot for a second-order lag system. The vertical axis is labeled <math>A</math> and the horizontal axis is labeled <math>\omega</math>. The plot starts at a constant value (0 on the axis) and then decreases with a slope of <math>-1</math> starting at a corner frequency marked <math>1/T_2</math>.</p>
$H_3(p)$	 <p>A Bode magnitude plot for a third-order lag system. The vertical axis is labeled <math>A</math> and the horizontal axis is labeled <math>\omega</math>. The plot starts at a constant value (0 on the axis) and then decreases with a slope of <math>-1</math> starting at a corner frequency marked <math>1/T_3</math>.</p>
$H_4(p)$	 <p>A Bode magnitude plot for a fourth-order lag system. The vertical axis is labeled <math>A</math> and the horizontal axis is labeled <math>\omega</math>. The plot starts at a constant value (0 on the axis), shows a resonance peak, and then decreases with a slope of <math>-2</math> starting at a corner frequency marked <math>1/T_4</math>.</p>
$H_5(p)$	 <p>A Bode magnitude plot for a fifth-order lag system. The vertical axis is labeled <math>A</math> and the horizontal axis is labeled <math>\omega</math>. The plot starts at a constant value (0 on the axis), shows a resonance peak, and then decreases with a slope of <math>-1</math> starting at a corner frequency marked <math>1/T_5</math>.</p>

Таблиця А.3 – Часові характеристики лінійних ланок

Передавальна функція ланки	$h(t)$	$\omega(t)$
$\frac{1}{T_1 p + 1}$	$1 - e^{-\frac{t}{T_1}}$	$\frac{1(t)}{T_1} - e^{-\frac{t}{T_1}}$
$\frac{1}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}$	$1 - \frac{T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - T_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}}{T_1 - T_2}$	$1(t) \cdot \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}}}{T_1 - T_2}$
$\frac{1}{(T_1 p + 1)^2}$	$1 - \frac{T_1 + t}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}$	$1(t) \cdot \frac{t}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}$
$\frac{1}{(T_1 p + 1)} \cdot \frac{1}{(T_2 p + 1)} \cdot \frac{1}{(T_3 p + 1)}$	$1 - \frac{T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}}{T_2 T_3 - T_1(T_2 + T_3) + T_1^2} -$ $-\frac{T_2^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}}{T_1 T_3 - T_2(T_1 + T_3) + T_2^2} -$ $-\frac{T_3^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}}{T_1 T_2 - T_3(T_1 + T_2) + T_3^2}$	$1(t) \cdot \left( \frac{T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}}{T_2 T_3 - T_1(T_2 + T_3) + T_1^2} + \right.$ $\left. + \frac{T_2^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}}{T_1 T_3 - T_2(T_1 + T_3) + T_2^2} + \right.$ $\left. + \frac{T_3^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}}{T_1 T_2 - T_3(T_1 + T_2) + T_3^2} \right)$
$\frac{1}{T_4^2 p^2 + 2\xi T_4 p + 1}$	$1 - \frac{e^{-\xi \frac{t}{T_4}}}{a} \cdot$ $\cdot \left( \xi \sin a \frac{t}{T_4} + a \cos a \frac{t}{T_4} \right)$	$1(t) \cdot \frac{e^{-\xi \frac{t}{T_4}}}{a \cdot T_4} \cdot \sin a \frac{t}{T_4};$ $a = \sqrt{1 - \xi^2}$
$\frac{1}{T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1}$	$\frac{2}{a} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T_5}} \cdot \sin a \frac{t}{T_5}$	$\frac{2}{T_5} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T_5}} \cdot \left( \cos a \frac{t}{T_5} - \frac{\xi}{a} \sin a \frac{t}{T_5} \right)$

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для виконання лабораторних робіт

з навчальної дисципліни

**«ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ»**

I частина

**Неперервні системи автоматичного регулювання**

*(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти  
за спеціальністю*

*141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі : **ЩЕРБАК** Яків Васильович,  
**ІВАКІНА** Катерина Яківна

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархасв*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2017, поз. 534 М

---

Підп. до друку 26.06.2017 р.  
Друк на ризографі  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 2,2  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.